

ТЕХНОЛОГИИ БЕЗОПАСНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КРИТИЧНЫХ ИНФРАСТРУКТУР И ТЕРРИТОРИЙ

РОЖДЕНИЕ ПЕРВОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТИ

^{1,3}Алексеев К. С., ¹Зарипова К. А., ^{1,2}Алексеев С. Г., ³Барбин Н. М.

¹НИЦ «Надежность и ресурс больших систем и машин» УрО РАН, Екатеринбург, Россия

²Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург, Россия

³Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

e-mail: paradox2405@mail.ru, ya.seniaa@yandex.ru, 3608113@mail.ru, NMBarbin@mail.ru

Аннотация. Начиная от работ Александра фон Гумбольдта, Жозефа Луи Гей-Люссака и Хемфри Дэви и до исследований первой половины 20 столетия рассмотрено рождение и становление первого показателя пожаровзрывоопасности. Показано, что приборы созданные в начале 20-го века в модернизированном виде нашли свое отражение в современных стандартах ГОСТ 12.1.044-84(89), DIN 51649-1, EN 1839-T:2004, EN 1839-B:2004, BS EN ISO 10156:2010 и ASTM E681-09.

Ключевые слова: концентрационный предел воспламенения, пожаровзрывоопасность, прибор.

THE BIRTH OF THE FIRST FIRE & EXPLOSION INDEX

K. S. Alekseev^{1,3}, K. A. Zaripova¹, S. G. Alekseev^{1,2}, N. M. Barbin³

¹Science and Engineering Centre «Reliability and Safety of Large Systems» of Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russia

²Ural Institute of State Fire Service of Emercom of Russia, Ekaterinburg, Russia

³Urals State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

e-mail: paradox2405@mail.ru, ya.seniaa@yandex.ru, 3608113@mail.ru, NMBarbin@mail.ru

Abstract. The birth and formation of the first characteristic of fire and explosion hazard - the flammability limits are considered from the work of Alexander von Humboldt, Joseph Louis Gay-Lussac and Humphry Davy and to research in the first half of the 20th century. It is shown that the devices created at the beginning of the 20th century in a modernized form are reflected in modern standards GOST 12.1.044-84 (89), DIN 51649-1, EN 1839-T: 2004, EN 1839-B: 2004, BS EN ISO 10156: 2010 and ASTM E681-09.

Key words: flammability limit, fire and explosion hazard, device.

Нормативного определения «показатель пожаровзрывоопасности» в нашей стране нет. За рубежом вместо этого названия обычно используют термин «fire characteristic». Если взять за основу гостовское определение показателя пожарной опасности [1] и учесть особенности возникновения горения и взрыва, то для данной характеристики можно предложить следующую формулировку: показатель пожаровзрывоопасности – это количественная мера, характеризующая какое-либо свойство пожаровзрывоопасности, заключенная в веществе, процессе или состоянии.

Ретроспективный анализ показывает, что фактически первым показателем пожаровзрывоопасности в современном понимании стали концентрационные пределы

воспламенения (далее КПВ), которые на начальном этапе назывались лимитами (пределами) взрываемости¹.

Первый шаг, который способствовал появлению КПВ, был сделан Александром фон Гумбольдтом и Жозефом Луи Гей-Люссаком. С помощью специального прибора эвдиометра, представляющего собой модифицированную пневматическую ванну с двумя впаянными электродами (рис. 1), ими было установлено, что условия воспламенения гремучей смеси (H_2+O_2) зависят от их соотношения [2].

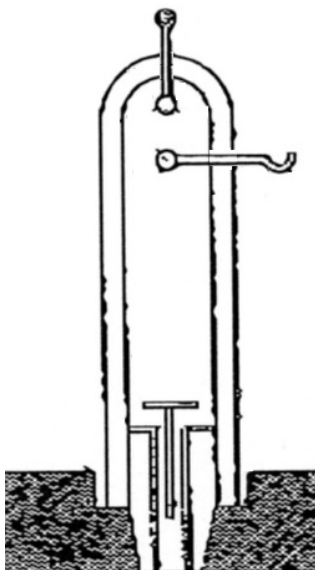


Рис. 1. Эвдиометр А. фон Гумбольдта и Ж.Л. Гей-Люссака

Второй важный шаг был сделан сэром Хемфри Дэви, который в рамках работы над безопасной лампой по заказу британской гильдии горняков впервые определил КПВ метана и других горючих газов. В качестве взрывного цилиндра им использовалась вертикально стоящая стеклянная бутылка объемом ~100 мл с узким горлом. Поджигание горючих смесей осуществлялось сверху с помощью пламени свечи (рис. 2) [3–6].

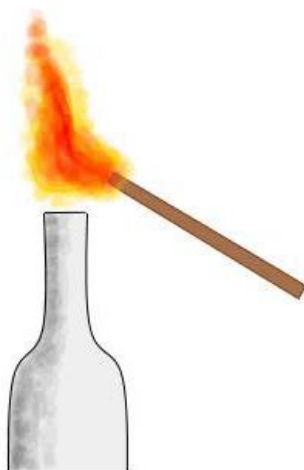


Рис. 2. Прибор Х. Дэви для определения КПВ

¹ С познанием огня человечество разделяло горючие вещества и материалы от негорючих, однако как количественная мера показатель горючести сформировался только во второй половине 20-го столетия.

В качестве третьего шага можно рассматривать открытие правила Ле-Шаталье, которое описывается уравнением (1) и позволяет рассчитывать КПВ смеси различных горючих газов [7, 8].

$$\frac{n}{N} + \frac{n'}{N'} = 1 \quad (1)$$

где – n , n' – объемы горючих газов; N , N' – КПВ горючих газов.

Эти три шага способствовали появлению первого показателя пожаровзрывоопасности – КПВ.

В конце 19-го столетия Вальтером Хемпелем была разработана взрывная пипетка для количественного определения горючего вещества в газовой смеси (рис. 3) [9], данный прибор и его модификации широко использовался в техническом анализе в конце 19-го и в первой половине 20-го столетий [10–19].



Рис. 3. Взрывная пипетка Хемпеля

В 1859 году произошла американская нефтяная революция, которая дало начало керосиновой эре. Вследствие которой появились новые показатели пожаровзрывоопасности – температуры вспышки и воспламенения. На первом этапе этого периода (1859–1920 гг.) температура вспышки играла роль критерия взрывоопасности керосина и других огнеопасных жидкостей [20–26].

Возможно, поэтому до окончания I Мировой войны, определение КПВ жидкостей практически не осуществлялось. В предвоенный период активно стали использоваться аппараты колонного типа² (рис. 4 и 5) [28–35]. В результате их эксплуатации было установлено, что значения КПВ зависят от расположения колонны в пространстве, места расположения электрического источника зажигания и диаметра колонны [5, 28, 30, 34]. В последующем усовершенствованные модели аппаратов колонного типа нашли свое отражение в нормативных документах разных стран. В качестве примера можно отметить

² Приборы данного типа появились еще в 19-м столетии [5, 27].

методы ГОСТ 12.1.044-84(89), DIN 51649-1, EN 1839-T:2004, EN 1839-B:2004, BS EN ISO 10156:2010, горного бюро США и других [36–40].

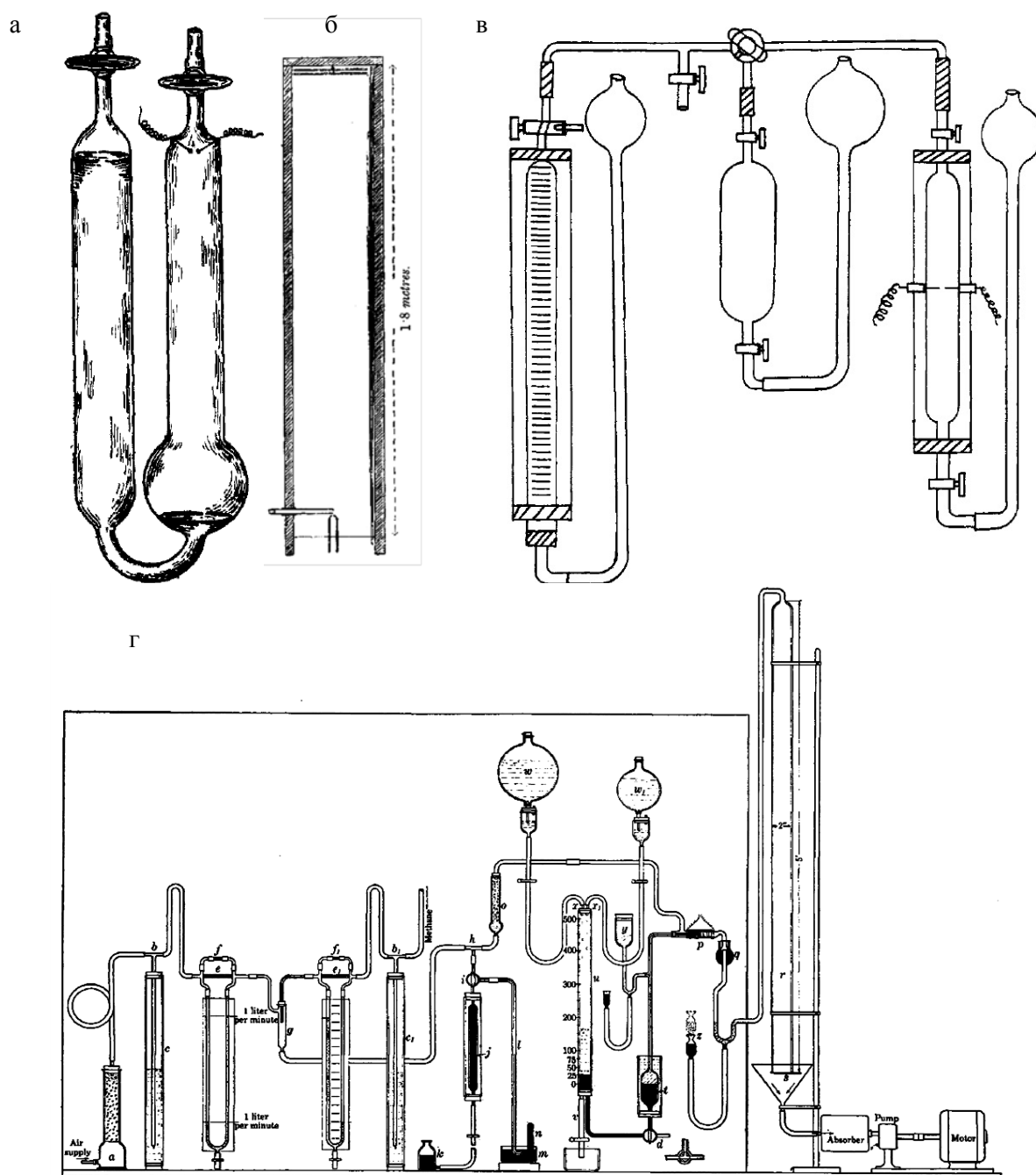


Рис. 4. Примеры аппаратов колонного типа: а – устройство Нойеса и Шефэрда [27]; б – взрывной цилиндр Коварда–Бринслея [28]; в – прибор Ридчарсона–Саттона [29]; г – прибор Коварда–Джонса [31]

В 1920-е годы также использовалась круглодонная колба в качестве взрывной емкости [41, 42], которая в дальнейшем закрепились в американском стандарте ASTM E681-09 для определения КПВ [43].

Таким образом, рождение КПВ произошло в 1815 году. Ряд методов экспериментального определения КПВ, которые были разработаны в конце 19-го и в первой половине 20-го столетий, используют в различных странах в настоящее время.

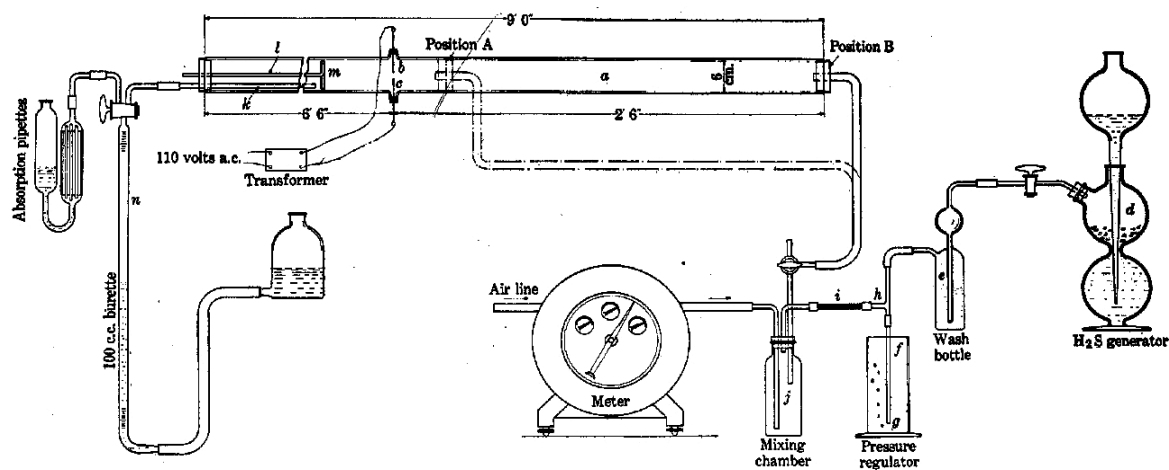


Рис. 5. Установка для определения КПВ H₂S [33]

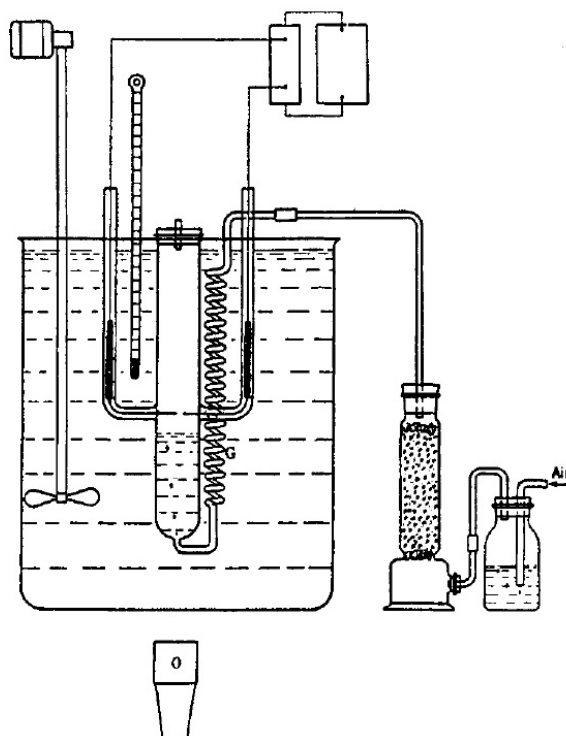


Рис. 6. Аппарат для определения КПВ высокипящих жидкостей [35]

Список литературы

1. ГОСТ 12.1.033-81. ССБТ. Пожарная безопасность. Термины и определения. URL: <http://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=149331>.
2. von Humboldt, A. Expérience sur les moyens oedimétriques et sur la proportion des principes constituants de l'atmosphère / A. von Humboldt, J. L. Gay-Lussac // Journal de Physique Théorique et Appliquée. – 1805. – Tome 60. – P. 11-45.
3. Davy, H. On the fire damp of coal mines, and on methods of lighting the mines so as to prevent its explosion / H. Davy // Proceedings of the Royal Society of London. – 1815. – Vol. 2(0). – P. 30-32.
4. Davy, H. On the fire damp of coal mines, and on methods of lighting the mines so as to prevent its explosion / H. Davy // Philosophical Transactions of the Royal Society of London. – 1816. – Vol. 106, Part I. – P. 1-22.
5. Britton, L. G. Two hundred years of flammable limits / L. G. Britton // Process Safety Progress. – 2002. – Vol. 21, No 1. – P. 1-11.
6. Grabarczyk, M. Lower flammability limits – experimental and theoretical determination methods for gaseous and liquid fuels. State of the art / M. Grabarczyk, W. Ciesińska, R. Porowski // Problemy

- Mechatroniki: uzbrojenie, lotnictwo, inżynieria bezpieczeństwa. – 2016. – Vol. 7, No 4(26). – P. 85-114.
7. Le Chatelier, M. H. Note sur le dosage du grisou par les limites d'inflammabilité / M. H. Le Chatelier // Annales des Mines. – 1891. – Tome 19, No 8. – P. 388-395.
8. Le Chatelier, M. H. Note on mine gas measurement by flammability limits / M. H. Le Chatelier // Process Safety Progress. – 2004. – Vol. 23, No 3. – P. 172-174.³
9. Hempel, W. Gasanalytische Methoden / W. Hempel. – Braunschweig: Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn, 1890. – P. 60-61.
10. Franzen, H. Exercises in Gas Analysis / H. Franzen. – Glasgow, Bombay: Blackie and Son, 1913. – P. 54-58.
11. Gill, A. H. A modification of Hinman's explosion pipette / A. H. Gill // Journal of American Chemical Society. – 1895. – Vol. 17, No 10. – P. 771-772.
12. Friend, J. N. The Chemistry of Combustion / J. N. Friend. – L.: Gurney & Jackson, 1922. – 110 p.
13. White, A. H. Technical Gas and Fuel Analysis / A. H. White. – N.Y.: McGraw-Hill Book Co., 1920. – P. 43-51.
14. Hempel, W. Methods of Gas Analysis / W. Hempel. – L.: The MacMillan Co., 1910. – P. 89.
15. Travers, M. W. The Experimental Study of Gases / M. W. Travers. – L.: The MacMillan Co., 1901. – P. 92-95.
16. Winkler, C. Handbook of Technical Gas-Analysis / C. Winkler. – L.: Gurney and Jackson, 1902. – P. 131-133.
17. Dennis, L. M. Gas Analysis / L. M. Dennis. – N.Y.: The MacMillan Co., 1920. – 1911. – Vol. II, Part II. – P. 141-144.
18. Technical Methods of Chemical Analysis / by ed. G. Lunge. – L.: Gurney & Jackson, P. 641-643.
19. Scott, W. W. Standard Methods of Chemical Analysis / W. W. Scott, N. H. Furman (ed.). – L.: The Technical Press Ltd., 1945. – Vol. 2. – P. 2353-2355.
20. Алексеев, С. Г. Эволюция понятия «температура вспышки» / С. Г. Алексеев, В. В. Смирнов, Н. М. Барбин // Техносферная безопасность. – 2016. – № 4(13). – С. 35-53.
21. Алексеев, С. Г. История возникновения классификации легковоспламеняющихся и горючих жидкостей в Великобритании / С. Г. Алексеев, В. В. Смирнов, Н. М. Барбин // История науки и техники. – 2017. – № 12. – С. 60-66.
22. Алексеев, С. Г. Температура вспышки. Часть I. История вопроса, дефиниции, методы экспериментального определения / С. Г. Алексеев, В. В. Смирнов, Н. М. Барбин // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – Т. 21, № 5. – С. 35-41.
23. Alekseev S., Smirnov V., Barbin N., Alekseeva D. Evolution of the classification of flammable and combustible liquids in Russia / S. Alekseev, V. Smirnov, N. Barbin, D. Alekseeva // Process Safety Progress. – 2018. – Vol. 37, No 2. – P. 230-236.
24. Алексеев, С. Г. История классификации легковоспламеняющихся жидкостей в США / С. Г. Алексеев, В. В. Смирнов, Н. М. Барбин // Вопросы истории естествознания и техники. – 2018. – Т. 39, № 3. – С. 508-519.
25. Алексеев, С. Г. История возникновения нефтометров и классификации легковоспламеняющихся и горючих жидкостей в Германии / С. Г. Алексеев, В. В. Смирнов, Н. М. Барбин // Вестник АН Чеченской республики. – 2018 (в печати).
26. Алексеев, С. Г. Первые нефтометры для определения температуры вспышки жидкостей. 1. Открытый тигель / С. Г. Алексеев, В. В. Смирнов, Н. М. Барбин // Российский химический журнал. – 2018. – Т. 62, № 3. – С. 000.
27. Noyes, W. A. The determination of methane carbon monoxide, and hydrogen by explosion in technical gas analysis / W. A. Noyes, J. W. Shepherd // Journal of American Chemical Society. – 1898. – Vol. 20, No 5. – P. 343-348.
28. Coward, F. H. The dilution-limits of inflammability of gaseous mixtures. Part I. The determination of dilution-limits. Part II. The lower limits for hydrogen, methane, and carbon

³ Современный перевод статьи [6] на английский язык.

- monoxide in air / F. H. Coward, F. Brinsley // *Journal of the Chemical Society Transactions*. – 1914. – Vol. 105. – P. 1859-1885.
29. Richardson, E. G. Explosive properties of Lacquer-solvent vapors / E. G. Richardson, C. R. Sutton // *Journal of Industrial & Engineering Chemistry*. – 1928. – Vol. 20, No 2. – P. 187–190.
30. White, A. G. Limits for the propagation of flame in vapour-air mixtures. Part I. Mixtures of air and one vapour at the ordinary temperature and pressure / A. G. White // *Journal of the Chemical Society Transactions*. – 1922. – Vol. 121. – P. 1244-1270.
31. Coward, H. F. Extinction of methane-air flames by some chlorinated hydrocarbons hydrocarbons / H. F. Coward, G. W. Jones // *Journal of Industrial & Engineering Chemistry*. – 1926. – Vol. 18, No 9. – P. 970–974.
32. van der Valk, J. H. A. P. L. On explosion regions of some gas and vapour mixtures in which carbon monoxide is the only or the principal inflammable gas / J. H. A. P. L. van der Valk // *Recueil des Travaux Chimiques des Pays Bas*. – 1929. – Vol. 48, No 2. – P. 201-219.
33. Jones, G. W. The explosibility of hydrogen sulfide in air / G. W. Jones, W. P. Yant, L. B. Berger // *Journal of Industrial & Engineering Chemistry*. – 1924. – Vol. 16, No 4. – P. 353–355.
34. Coward, H. F. Limits of inflammability of gases and vapors / H. F. Coward, G. W. Jones // *Bulletin 279. Department of Commerce. Bureau of Mines*. – Washington: US Government Printing Office, 1928. – 108 p.
35. Jones, G. W. Inflammation limits and their practical application in hazardous industrial operations / G. W. Jones // *Chemical Reviews*. – 1938. – Vol. 22, No 1. – P. 1-26.
36. ГОСТ 12.1.044-84 (СТ СЭВ 4831-84). Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 137 с.
37. ГОСТ 12.1.044-89. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. – М.: Стандартинформ, 2006. – 100 с.
38. Molnarne, M. Flammability of gases in focus of European and US standards / M. Molnarne, V. Schroeder // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. – 2017. – Vol. 48. – P. 297-304.
39. BS EN ISO 10156:2010. Gases and gas mixtures – determination of fire potential and oxidizing ability for the selection of cylinder valve outlets (ISO 10156:2010). – L.: BSI, 2011. – 34 p.
40. Coward, H. F. Limits of flammability of gases and vapors / H. F. Coward, G. W. Jones // *Bulletin 503. Bureau of Mines*. – Washington: US Government Printing Office, 1952. – 168 p.
41. Crouch, H. Effect of nitrogen and carbon dioxide dilutions on explosion limits of acetone and methanol / H. Crouch, E. K. Carver // *Journal of Industrial & Engineering Chemistry*. – 1925. – Vol. 17, No 6. – P. 641-642.
42. Jorissen, W. P. On the influence of some noninflammable vapours of organic liquids on the limits of inflammability of methane air mixtures, II / W. P. Jorissen, J. C. Meuwissen // *Recueil des Travaux Chimiques des Pays Bas*. – 1924. – Vol. 43, No 8. – P. 591-597.
43. ASTM E681-09. Standard test method for concentration limits of flammability of chemicals (vapors and gases). – West Conshohocken: ASTM International, 2015. – 12 p.